

# 非开挖定向钻技术在大管径 PE 给水管道工程中的应用

廖 祯 虎, 马 栋 梁, 熊 小 龙

(中国水利水电第十工程局有限公司, 四川 成都 610037)

**摘 要:** 随着国民经济的飞速发展, 采用常规开挖施工技术的条件日趋受限, 而非开挖定向钻技术以其具有的巨大优势能够满足城市管道施工的要求。以海口市白龙路供水管道建设工程管道敷设为例, 阐述了非开挖定向钻施工技术在大管径、长距离 PE 给水管道施工中的具体应用, 所取得的经验可为类似工程施工提供借鉴。

**关键词:** 非开挖定向钻施工技术; 大管径; 长距离; PE 给水管道施工; 白龙路供水管道

中图分类号: TU6; TU7; TU5; TU99

文献标识码: B

文章编号: 1001-2184(2022)05-0021-04

## Application of Trenchless Directional Drilling Technology in Water Supply Project Using Large Diameter PE Pipeline

LIAO Zhenhu, MA Dongliang, XIONG Xiaolong

(Sinohydro Bureau 10 Co., LTD., Chengdu, Sichuan, 610037)

**Abstract:** With the rapid development of the Chinese economy, the situation for using conventional excavation methods are increasingly limited. However, with great advantages, the trenchless directional drilling technology meets the requirements of urban pipeline construction. This paper introduces the specific application of trenchless directional drilling construction technology in the construction of large-diameter and long-distance PE water supply pipelines through an example of water supply pipeline project in Bailong Road, Haikou, which could provide reference and experience for similar projects.

**Key words:** Trenchless directional drilling construction technology; Large diameter; Long distance; PE water supply pipeline construction; Water supply pipeline in Bailong Road

### 1 概 述

随着城市化建设的不断加快, 20 世纪 70 年代发展起来的水平定向钻施工技术正以其对周边建筑物影响小、对道路交通干扰小、施工效率高、综合成本低、适用范围广等优点广泛应用于给排水、电力、燃气等领域不宜采用开挖施工的管道敷设。

白龙路供水管道建设工程是海南省海口市应急供水工程, 主要解决新埠岛及海甸岛居民供水问题, 合同工期为 90 d, 工期紧、任务重。该供水管道沿白龙路两侧非机动车道布置, 穿越横沟河直至新埠岛, 全长 4 413 m, 管材采用 DN800PE100 给水管, 其中供水管道穿越横沟河段时需穿越横沟河与跨河新埠大桥及其两侧通行栈桥桩基, 该

栈桥桩基为  $\Phi 800$  mm,  $L=18$  m, 间距  $5\text{ m}\times 2.9\text{ m}$  (长 $\times$ 宽), 沿宽度方向四排平行布置。横沟河河面宽度约为 200 m, 河道中心深度约为 5 m, 管段地质条件复杂、跨度长, 施工难度较大。

据地表调查和钻探揭露: 在钻探深度 30 m 范围内, 场地内地层岩性为素填土( $Q_4^m$ )、第四纪全新统海相沉积土( $Q_4^s$ )、第四纪下更新统海相沉积层( $Q_3^m$ )。根据地层岩性特征, 从上而下划分为: ①层为素填土( $Q_4^m$ ), ②层为黏土( $Q_4^s$ ), ③层为粗砂( $Q_3^m$ ), ④层为粉砂( $Q_3^m$ ), ⑤层为黏土( $Q_3^m$ ), ⑤<sub>1</sub>层为中砂( $Q_3^m$ )。穿河段管道的平直段主要处于第⑤<sub>1</sub>层(中砂层), 主要成份为石英质中砂、粗砂, 次为砾石、细砂, 次棱角~次圆状, 含黏粒约为 5%, 透水性强。鉴于上述施工难点, 项目部对现场情况反复进行查勘, 并对施工方案多

收稿日期: 2022-07-10

次进行讨论研究,综合考虑了各种影响因素及参建各方的要求,开展了对非开挖定向钻技术在大管径 PE 给水管道施工中的运用研究,以确保管道施工顺利完成。

## 2 管道穿越方案的设计

### 2.1 水平定向钻工艺具有的优点

(1)施工工艺简单,可操作性强,进、出场速度快,施工场地可灵活调整,占地少,容易组织实施,综合施工成本低。

(2)不破坏地貌和环境,不影响交通,解决了传统施工工艺对居民生活的干挠,对周边环境影响较小。

(3)施工人员、设备均位于地面,避免了深基坑等不良作业条件,不损伤道路及河堤结构,安全

性高。

(4)施工精度高,容易调整管道敷设方向和埋深,可有效避让地下管线、构筑物等障碍物,施工难度小。

### 2.2 高密度聚乙烯管材的性能

高密度聚乙烯管材(PE 管)是我国近年来新兴的给水管材,其优点为管材密闭性能好、使用寿命长、耐腐蚀、重量轻,聚乙烯管材断裂伸长率较高,具有极为优异的柔韧性、良好的抗不均匀沉降和抗震性能,适用范围极为广泛。其缺点为管道承压能力略小,PE100 系列 SDR11, DN800 管道的承压能力不大于 1.6 MPa(注:SDR11 为管材径壁比;DN800 为管道直径)。高密度聚乙烯管材性能见表 1。

表 1 高密度聚乙烯管材性能表

序号	性 能	PE100(SDR11)
1	长期静液压强度(200 ℃, 50 a, 概率预测 97.5%)	10~11.19
2	设计应力 $\sigma_s$ /MPa	8
3	耐快速裂纹扩展临界压力(0 ℃)/MPa	全尺寸(FS)试验(直径 $\geq$ 250 mm) 小尺寸(S4)稳态试验(所有直径)
		$\geq$ 1.5 $\geq$ 0.344
4	耐慢速裂纹增长(壁厚 $>$ 5 mm, 80 ℃/h)	0.92 MPa 0.8 MPa
5	断裂延伸率/%	— $\geq$ 350

### 2.3 穿越方案的设计

(1)现场复勘。管道穿越施工前,对河流地质情况、栈桥桩基分布情况等进行了全面、细致的复查,查缺补漏,防止发生遗漏等情况,有助于对沿线情况进行全面了解,以便设计定向钻钻进的最佳线路,降低施工难度。

(2)钻进轨迹设计。根据《水平定向钻法管道穿越工程技术规程》(CECS382—2014)中表 5.3.

5 要求,PE 管直径 $\geq$ 800 mm 时,水平定向钻先导孔钻进轨迹曲率半径不应小于 300 D(D 为管道直径),入土角度为  $8^\circ \sim 30^\circ$ ,出土角度为  $4^\circ \sim 20^\circ$ [1]。该工程钻进入土角取  $10^\circ$ ,出土角取  $8^\circ$ ,曲率半径取 400 m。因管道穿越需避让栈桥基础灌注桩,故将穿越平直段的深度取 25 m,经计算得出本段管道穿越长度  $L=550.3$  m,管道穿越轨迹设计情况见图 1。

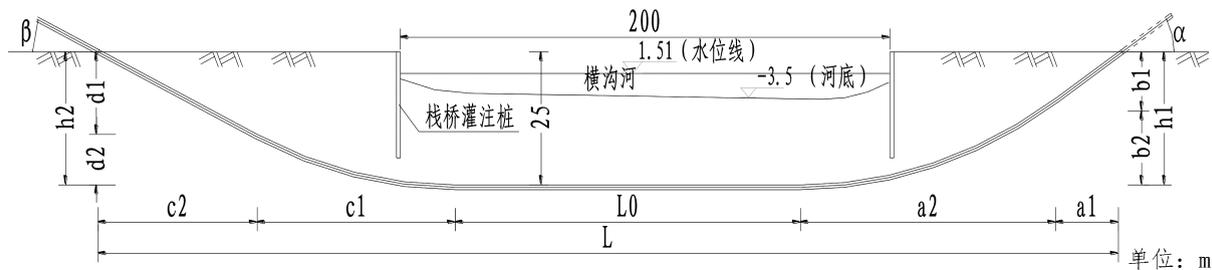


图 1 管道穿越轨迹设计示意图

(3)估算管道回拖力。根据《给水排水管道工程施工及验收技术规范》(GB50268—2008)中的式 6.6.2—1 进行计算[2],其回拖力  $F=1110$  kN。

(4)钻机的选择。根据《水平定向钻法管道穿越工程技术规程》(CECS382—2014)中第 6.3.1 要求,该工程选用徐工 XZ2860 水平定向钻机用

于穿河段管道的施工,其设备额定最大推拉力  $F_{\text{额}} = 2\ 860\ \text{kN} > 1.5 \times F_{\text{拖}} = 1.5 \times 1\ 110\ \text{kN} = 1\ 665\ \text{kN}$ ,满足施工要求。

(5)管材承受的最大回拖力。根据《水平定向钻法管道穿越工程技术规程》(CECS382—2014)中的式5.2.5进行计算得知: $F = 1\ 137\ \text{kN}$ 。

管材所能承受的最大回拖力  $1\ 137\ \text{kN} >$  回拖力估算值  $1\ 110\ \text{kN}$ ,故管材满足施工要求。

### 3 定向钻施工方法

#### 3.1 施工流程

施工准备→钻机就位调试→泥浆配置→导向孔钻进→预扩孔→管道焊接→管道回拖→土体加固→管道试压。

#### 3.2 施工准备

(1)测量定位。测量人员根据施工图放出供水管道中心桩位及出、入土点位,采用木桩标定并记录木桩顶高程。中心桩每3m左右打一标志桩,对于管道穿越栈桥桩基范围应加密轴线控制点位,放样点按0.5m左右一个标定。

(2)场地布置。钻机就位前,分别在管道出、入土点中心位置开挖工作坑,工作坑尺寸为  $9\ \text{m} \times 3\ \text{m} \times 2\ \text{m}$ (长×宽×深),工作坑四周打入4m长的SP-IV型拉森钢板桩进行支护,防止基坑坍塌。

#### 3.3 钻机就位调试

钻机设备固定前,测量人员应对钻杆位置进行校核,直至方位调整与设计穿越轴线延伸线重合后将钻机固定在地面。钻机就位后进行试钻,确保设备控制系统、接收器、远程同步监控系统运行正常。

#### 3.4 泥浆配置

供水管道主要穿越河底中砂层,对泥浆的性能要求较高,要求泥浆应具有良好的流变性、较强的携带钻屑能力、较低的摩擦系数、良好的润滑性以及优异的固壁能力。泥浆由膨润土、泥浆添加剂加水搅拌制成,将浆液黏度控制在  $60 \sim 80\ \text{s}$ ,水碱性值控制在  $8 \sim 10$ ,钻进过程中每2h观测一次马氏漏斗黏度,根据现场情况变化及时调整浆液配比。

#### 3.5 导向孔钻进

控向系统采用Eclipse有线和无线控测仪结合的双控向方式对钻进轨迹进行实时监控。将所

设计的穿越轨迹主要参数在施工前输入钻机控向系统,由控向系统自动计算穿越轨迹的有关数据。

首根钻杆入土钻进时先轻压慢钻,稳定入土点位置,待其符合设计钻进轨迹后正常钻进,钻进时泥浆泵喷嘴压力不大于1MPa,压力过大易出现冒浆。

斜段测量频率为每0.5m一次,平直段为每3~5m一次,同一量测点沿钻头不同角度读取的读数不少于3次并取其平均值做为最终数据,以减少控向数据采集误差。钻进过程中,应与设计钻进轨迹进行对比,出现偏差时及时调整。

导向孔钻进过程中,应注意井眼返浆情况并做好记录,以准确判断钻进过程中的地质情况,为预扩孔提供可靠的数据<sup>[3]</sup>。

#### 3.6 预扩孔

扩孔采用反拉旋转多级扩孔。首次扩孔直径为350mm,扩孔直径逐级增大,按照每级100mm逐级增加,终孔直径取1150mm。

导向孔钻进完成后,卸下起始杆和导向钻头,先更换为直径350mm的回扩钻头进行回扩,完成扩孔后再更换下一级回扩钻头进行扩孔。最后一次回扩钻头需采用相应的挤扩式钻头,若回拖力和回扩扭矩过大,则需多回扩一次,以利孔壁的成型和稳定<sup>[4]</sup>。

扩孔过程采用“中钻速、中钻压、大泵量”的方法控制,回扩时将泥浆密度控制在  $1.1 \sim 1.2\ \text{g}/\text{cm}^3$ ,黏度控制为  $45 \sim 70\ \text{s}$ ,PH值控制在  $8 \sim 9$ 。回扩期间,保持工作坑浆液高于地下水位,并根据扭矩、回拖力和进尺等情况及时调整浆液性能指标。

#### 3.7 管道的连接

沿河堤将PE管按顺序摆放以便于管道组对焊接。该工程采用SHBD800热熔焊机进行焊接施工,将焊接温度控制在  $210\ ^\circ\text{C} \sim 220\ ^\circ\text{C}$ ,热熔时间控制在  $5 \sim 10\ \text{min}$ ,冷却时间不低于30min,管材冷却时间不得移动或在连接处施加外力。

#### 3.8 管道的回拖

鉴于PE管材抗拉屈服强度较低,为避免回拖力超过管材拉伸极限发生断裂而影响到管道的安装质量,在管道中设  $\Phi 140\ \text{mm} \times 9.6\ \text{m}$  通长钻杆,钻杆穿过拉管头后固定在拉管头外侧,管道四周均匀固定三根  $\Phi 50\ \text{mm}$  PE花管。

清孔完成后,将扩孔器与万向节、U型环与拉管头连接牢固,在确保全部准备工作完成后开始管道回拖,管道回拖采用机械辅助发送,设专人统一指挥吊车根据回拖速度向前吊送。

管道回拖宜连续进行,中途不能中断并保持泥浆回流,回拖速度按平均 $0.8\sim 1\text{ m/min}$ 匀速、平稳拉进管道。在回拖管材施工过程中,应尽量避免发生卡管、铺管受挤压变形、泥浆渗出等事故,若发生则应分析原因、采取相应措施予以解决<sup>[5]</sup>。回拖完成后,封闭管口并等待 $3\sim 5\text{ d}$ ,使管道回拖所产生的轴向应变恢复后方可切断管头。

### 3.9 土体加固

为防止地面沉降,在管道回拖完成后,通过预留花管对管道四周的土体进行加固,采用 $1:1.5$ 的水泥浆液对管道孔壁间进行填充置换。

### 4 注意事项

(1)PE管材进场后,必须组织验收并取样检测,合格后方可使用,以确保材料性能满足要求。

(2)司钻在操作过程中,设备启动、运转、停止平稳过渡,采用低速钻孔及扩孔;出现扭矩过大情况时应及时降低速度,待处理完成后再继续钻进。

(3)钻进时,泥浆泵开泵不宜过快,压力不能过大,避免浆液压力骤增对孔壁造成猛烈冲击而导致塌孔。

(4)钻进过程中,一定要注意观察浆液状态,保持浆液均匀、性能稳定,防止浆液性能出现大幅度变化,若发现泥浆因失水、携带钻屑而变稠时,应及时过滤钻屑并稀释浆液。

(5)在钻进与扩孔阶段,钻进和扩孔速度不能过快,以保证孔洞内有充足的泥浆能快速带出土屑,防止堵塞孔道;管道回拖阶段应匀速、平稳回拖,防止速度过快导致孔洞内的泥浆无法快速流

动释放而造成瞬间高压破坏。

(6)扩孔时,严格按照相关要求逐级进行扩孔,禁止为追求进度越级扩孔。

### 5 结语

近年来,水平定向钻施工技术在我国得到了迅猛发展,PE管材也愈来愈多地应用于管道工程建设,无论在管道敷设、置换、修复中都发挥着重要的作用,取得了较好的社会效益和经济效益。

目前国内长距离、大管径管道敷设应用水平定向钻技术施工的项目其管材主要采用钢管;长距离、大管径PE管道敷设主要为尝试应用,可供借鉴的施工经验不多,因此,总结非开挖水平定向钻大管径PE管道敷设技术的应用经验极为必要。通过白龙路供水管道工程大管径PE管敷设应用非开挖水平定向钻施工技术,其管道施工质量满足设计和规范要求,施工安全、高效,综合成本低,所取得的施工经验对类似工程管道施工具有一定的借鉴意义。

### 参考文献:

- [1] 水平定向钻法管道穿越工程技术规程,CECS382-2014[S].
- [2] 给水排水管道工程施工及验收技术规范,CB50268-2008[S].
- [3] 蒋静.浅议水平定向钻进管线敷设技术[J].上海水务,2010,26(1):19-24.
- [4] 郭锡明.非开挖水平定向钻进拉管施工技术应用[J].福建建筑,2013,31(8):57-59.
- [5] 黄文宁.水平定向钻进技术在市政供水管道施工中的应用[J].现代商贸工业,2010,22(21):342-343.

### 作者简介:

廖祯虎(1968-),男,四川资阳人,高级工程师,从事建设工程施工技术与管理经营工作;

马栋梁(1982-),男,甘肃兰州人,高级工程师,一级建造师,从事建设工程施工技术与管理经营工作;

熊小龙(1981-),男,四川广安人,工程师,从事建设工程施工技术与管理经营工作。

(责任编辑:李燕辉)

## 印尼佳蒂格德项目竖井段首节钢管吊装就位

2022年10月9日,由水电十局公司承建的印尼佳蒂格德水电站项目竖井段压力钢管安装首节钢管顺利吊装就位,标志着该项目金属结构安装工作全面开始,为项目发电目标奠定了坚实基础。该项目的引水隧洞为“马蹄”型,直径5.7米,竖井管线深度为71.26米,布置有上弯段、竖井段、下弯段、下平段等5个阶段的钢管安装,上平至下弯段共有46节钢管,钢管直径为4.5米,单重约8吨。该引水隧洞存在岩层结构复杂、隧洞掘进受阻、洞内渗水量大、空间狭小、通风困难等难点,给项目竖井段的钢管安装工作带来严峻挑战,其作业环境、难度系数、风险系数在印尼同行业施工中尚属首次。项目部与总包部解决密切配合,周密部署、精心准备,优化方案,研究部署应对措施,层层压实责任,认真把控每个环节,多次开展有关解决“通风、排水、焊接烟尘”等问题的专题会议,切实研究讨论解决施工中出现的的问题,全力做到技术有托底、进度有支撑、安全有保障,有力推进了项目的安装工作。在业主、PLN咨询、项目各级领导的共同见证下,竖井段首节钢管吊装顺利就位,为后续的钢管安装工作开创了良好的局面。

(中国水电十局 供稿)